

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 656 093

(21) N° d'enregistrement national :

90 16036

(51) Int Cl⁵ : G 01 K 13/00, 7/00; H 01 L 33/00//G 01 C 19/64

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 20.12.90.

(71) Demandeur(s) : UNITED TECHNOLOGIES
CORPORATION — US.

(30) Priorité : 20.12.89 US 453538.

(72) Inventeur(s) : Winston Charles R., Jr.

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : 21.06.91 Bulletin 91/25.

(73) Titulaire(s) :

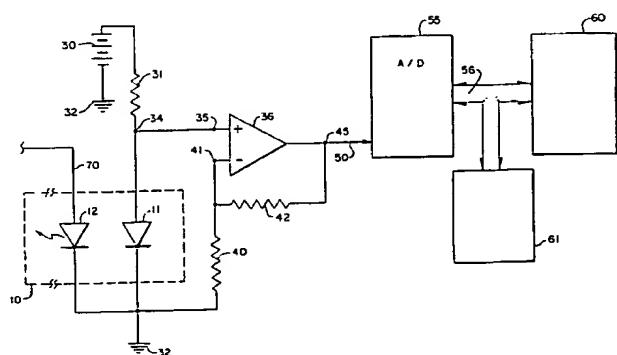
(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche : Le rapport de recherche n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.

(74) Mandataire : Cabinet Bruder Michel Conseil en
Brevets.

(54) Procédé et dispositif de mesure de la température d'une source de lumière en matériau semi-conducteur.

(57) La présente invention concerne des dispositifs de détection de température et plus particulièrement des dispositifs de détection de température destinés à la mesure de la température d'une source de lumière en semi-conducteur.

Cet appareil est caractérisé en ce qu'il comprend un substrat en semi-conducteur (13), une source de lumière (12) en semi-conducteur, formée dans le substrat en semi-conducteur (13), et des moyens (11) de détection de température, formés dans le substrat en semi-conducteur (13) à proximité de la source de lumière (12) en semi-conducteur, afin de fournir un signal électrique indiquant une tension électrique (V_t) aux bornes des moyens de détection de température (11), ce signal électrique variant en fonction de la température du substrat.



La présente invention concerne des dispositifs de détection de température et plus particulièrement des dispositifs de détection de température destinés à la mesure de la température d'une source de lumière en semi-conducteur.

5 Un gyroscope à fibre optique comporte une source d'énergie lumineuse telle que, par exemple, une source de lumière en semi-conducteur à diode laser, laquelle émet de la lumière cohérente séparée en deux faisceaux sensiblement égaux par un séparateur de faisceau. Le séparateur de 10 faisceau est couplé aux extrémités d'un tronçon de fibre optique enroulé sous la forme d'une bobine d'une ou plusieurs spires. Les faisceaux de lumière sont lancés vers et dans chaque extrémité de la bobine et, lorsqu'il n'y a aucune perturbation en rotation, les faisceaux se propagent d'une 15 manière égale, dans des directions opposées, autour de la bobine et ils se recombinent de manière à former un motif de franges à l'endroit d'un détecteur.

Lorsque la bobine est soumise à une rotation autour d'un axe perpendiculaire à celui de la bobine, une 20 perturbation non réciproque apparaît, cette perturbation étant connue comme étant l'effet Sagnac, si bien que les faisceaux de lumière opposés prennent des temps différents pour traverser la bobine, ce qui provoque une différence de phase entre les faisceaux lorsque ceux-ci atteignent le 25 détecteur. La différence de phase entre les faisceaux provoque un décalage du motif de franges à l'endroit du détecteur. La grandeur et la direction du décalage des franges sont respectivement proportionnelles à la vitesse et au sens de la rotation appliquée à la bobine autour de son 30 axe de rotation.

On peut compenser (c'est-à-dire annuler) une différence de phase entre les deux faisceaux de lumière dans la bobine en imposant un déphasage additionnel non réciproque aux faisceaux d'une manière égale opposée à la différence de phase existante et ce en utilisant un modulateur de phase, par exemple un modulateur de phase optique intégré, au niobate de lithium. Dans un gyroscope à fibre optique à boucle fermée, du type serrodyne, un modulateur de phase est attaqué par un signal en forme de rampe linéaire ou de rampe à échelon, afin de produire un déphasage de la lumière passant à travers le modulateur de phase, ce déphasage étant égal et opposé au déphasage provoqué par l'effet Sagnac. Lorsque l'amplitude de la rampe est maintenue constante et la durée du temps de retour (c'est-à-dire le temps mis par la tension de rampe pour passer de sa crête à la tension de référence) est sensiblement égal à zéro, l'information relative à la vitesse du gyroscope est donnée par la relation suivante :

$$\Omega = (SF) * (f)$$

où Ω est la vitesse angulaire de la rotation du gyroscope, f est la fréquence de la rampe linéaire et SF est un facteur d'échelle. La fréquence de la rampe peut être mesurée directement et le facteur d'échelle est un facteur de proportionnalité dépendant de la longueur d'onde de la source.

La longueur d'onde de la source est une fonction de la température de la source, et elle varie par exemple de 0,03%/°C dans le cas d'une diode laser. A cause de cette relation, il est important de connaître la température de la source de telle façon que l'on puisse soit corriger le

facteur d'échelle pour tenir compte des variations de température soit commander la température de la source de façon à maintenir une longueur d'onde et un facteur d'échelle constants.

5 Certaines sources en semi-conducteur enveloppées comprennent une boucle de commande de la température laquelle est constituée par une thermistance montée sur un substrat ou une surface d'enveloppement, afin de mesurer la température de la source, et par un moyen pour refroidir l'enveloppe de 10 la source, tel qu'un refroidisseur thermo-électrique. Le refroidisseur vise à maintenir la source à une température constante, en supprimant ainsi les variations de longueur d'onde en fonction de la température.

Cependant la thermistance ne mesure pas directement 15 la température de la source, ce qui se traduit par deux types d'erreur. Une erreur de régime permanent résulte de la résistance thermique entre la thermistance et la source. Cette erreur peut varier additionnellement avec le rendement de la source qui peut se modifier par suite du 20 vieillissement. Un second type d'erreur est la réponse retardée, provoquée par le retard de transport thermique et la constante de temps de la thermistance. Cette erreur prévaut pendant la mise en service de l'alimentation du système et les régimes transitoires de l'alimentation de la 25 source.

Dans de nombreuses applications d'un gyroscope à fibre optique un temps d'échauffement désiré peut être donné en secondes; cependant les durées de stabilisation thermique de la source et de la thermistance peuvent être en fait 30 mesurées en minutes. Cette durée d'échauffement exagérément

longue peut affecter sérieusement la précision du système dans le cas d'un gyroscope qui est par ailleurs un appareil à haute précision.

Le but de la présente invention est de fournir des 5 moyens améliorés de mesure de la température d'une source de lumière en semi-conducteur qui répondent rapidement à des variations de la température de la source.

Suivant un premier aspect de la présente invention un dispositif de détection de température en semi-conducteur est 10 fabriqué dans le même substrat qu'une source de lumière en semi-conducteur, on fait passer un courant électrique à travers le dispositif de détection et on détecte, par un processeur de signal, une tension électrique produite aux bornes du dispositif. Toujours suivant l'invention la tension 15 est convertie par le processeur de signal, en un signal de température, et ce en utilisant une relation connue, entre la température et la tension, du dispositif de détection. Toujours suivant l'invention le signal de tension est amplifié avant qu'il ne soit détecté par le processeur de 20 signal.

Suivant un second aspect de la présente invention, on fait passer un courant électrique à travers une source de lumière en semi-conducteur existante, fabriquée sur un substrat en semi-conducteur, et une tension électrique 25 résultante, apparaissant aux bornes de la source de lumière, est détectée et convertie en un signal de température, en utilisant une relation connue, entre la température et la tension, de la source de lumière en semi-conducteur.

La présente invention représente un progrès par 30 rapport aux dispositifs antérieurs de mesure de la

température d'une source de lumière en semi-conducteur, telle qu'une thermistance, parce que la résistance thermique est notablement réduite entre la source de lumière et le dispositif en semi-conducteur, sensible à la température, qui 5 est fabriqué dans le même substrat. Par conséquent les erreurs de régime permanent et les retards de transport dus à la résistance thermique sont notablement réduits. En outre une information de température plus précise peut être fournie à une boucle de commande de température afin de mieux 10 maintenir la source à une température désirée. De plus la durée d'échauffement désirée du gyroscope est réduite par suite du temps de réponse rapide à des variations de température de la source.

Un autre progrès apporté par la présente invention 15 est que la mesure plus précise de la température de la source peut être utilisée avec la caractéristique de variation de la longueur d'onde en fonction de la température de la source de lumière afin de déterminer avec précision la longueur d'onde de la lumière émise par la source de lumière. La 20 détermination de la longueur peut être ensuite utilisée pour supprimer la sensibilité à la longueur d'onde de dispositifs utilisant la source de lumière tels que, par exemple, un gyroscope à fibre optique à boucle fermée, du type serrodyne.

On décrira ci-après, à titre d'exemples non 25 limitatifs, diverses formes d'exécution de la présente invention, en référence au dessin annexé sur lequel :

La figure 1 est un schéma d'un dispositif de détection de température en semi-conducteur suivant la présente invention, inclus dans un circuit de détection de 30 température.

Les figures 2 (a)-(d) sont des schémas d'un circuit intégré au cours de diverses étapes d'un processus de fabrication par croissance épitaxiale et diffusion.

La figure 3 est un schéma d'un circuit intégré 5 contenant le dispositif de détection de température en semi-conducteur représenté sur la figure 1.

La figure 4 est un diagramme représentant la caractéristique de variation de la tension en fonction de la température du dispositif de détection de température de la 10 figure 1.

La figure 5 est un schéma d'une source de lumière en semi-conducteur et d'un circuit de détection de température suivant une variante d'exécution de la présente invention.

Si on se réfère à la figure 1, on y voit un circuit intégré monolithique 15 comprenant un dispositif en semi-conducteur 11, sensible à la température, tel qu'une diode en arséniure de gallium (GaAs), et une source de lumière en semi-conducteur 12, tel que par exemple une diode laser en GaAs. La diode de détection 11 et la diode laser 12 sont fabriquées sur le substrat du circuit intégré 10 en utilisant 20 des processus connus de fabrication de circuits intégrés, par croissance épitaxiale et diffusion, tels que décrits plus loin.

Si on se réfère à la figure 2(a), on voit que le circuit intégré 10 est formé en prévoyant tout d'abord une mince couche d'un matériau de substrat 13, par exemple en GaAs dopé avec une concentration élevée d'atomes donneurs du type n (c'est-à-dire des atomes ayant des électrons libres en excès), une face de la couche du substrat étant polie. 30 Ensuite on utilise un processus de croissance épitaxiale pour

faire croître une deuxième couche 14 sur le substrat 13. La couche épitaxiale 14 a une concentration ou un type différent d'atomes d'impureté, par exemple une concentration inférieure en atomes d'impureté du type n. Pendant ce processus le substrat 13 est exposé à un environnement gazeux à haute température, le gaz contenant le matériau du cristal du substrat ayant une concentration différente ou un type différent de matériau d'impureté. Le matériau du cristal dans le gaz est déposé sur la face polie du substrat. On forme ensuite une couche d'oxyde 15 sur la couche épitaxiale 14 en exposant l'ensemble à une atmosphère d'oxygène ou de vapeur à haute température.

Si on se réfère à la figure 2(b), on voit que cette figure illustre l'exécution d'un processus d'attaque chimique et de diffusion au cours duquel des sections 16 de la couche d'oxyde 15 sont tout d'abord enlevées. Ensuite une diffusion d'isolation a lieu en exposant l'ensemble à une atmosphère contenant les mêmes impuretés que les impuretés du substrat. La durée et la température de l'exposition sont contrôlées de manière à permettre aux impuretés de pénétrer dans la couche épitaxiale et d'atteindre le substrat 13, en formant ainsi des régions isolantes 17 qui permettent une isolation électrique entre différents composants du circuit.

On forme ensuite, ainsi qu'il est représenté sur la figure 2(c), une nouvelle couche d'oxyde 15 et on enlève des sections 18 de cette couche de telle façon que les composants du circuit 19 (par exemple la diode de détection 11 et la diode laser 12) puissent être formés dans l'ensemble. La formation des composants est effectuée en utilisant le processus précité de diffusion d'isolation, avec une variété

d'atomes de diffusion tels que des atomes donneurs du type n ou des atomes accepteurs du typ p (c'est-à-dire des atomes ayant des trous libres en excès) afin de former les composants de circuit désirés. On répète ce processus autant 5 qu'il est nécessaire pour former les composants désirés du circuit.

En plus de la formation de la couche d'oxyde et de son élimination subséquente en vue de la diffusion de l'isolation, on peut enlever des sections de la couche 10 d'oxyde en vue de la formation de couches additionnelles 20, à croissance épitaxiale, ainsi qu'il est illustré sur la figure 2(d).

Une fois que les étapes de croissance épitaxiale et de diffusion ont été achevées, on forme une nouvelle couche 15 d'oxyde 15 et on enlève là encore des sections de cette couche en vue du dépôt d'un métal pour former des contacts ohmiques 21, (figure 3), avec les composants du circuit intégré formés dans l'ensemble.

La figure 3 montre comment le processus de 20 fabrication par croissance épitaxiale et diffusion peut être utilisé pour fabriquer le circuit intégré 10 suivant la présente invention, contenant une diode 11 en GaAs et une diode laser 12 en GaAs.

Si on se réfère de nouveau à la figure 1, on voit 25 qu'une alimentation 30 à courant continu fournit un courant de jonction i_j afin de polariser dans le sens direct la diode de détection 11. Le courant de jonction s'écoule à partir de l'alimentation 30, à travers une résistance 31 et la diode 11, jusqu'à la masse 32. La valeur de la résistance 31 qui 30 est connectée entre l'alimentation 30 et la diode 11 est

choisie de telle façon que le courant de jonction i_j soit supérieur au courant de saturation I_s de la diode de détection 11.

La tension de détection V_s est la tension aux bornes 5 de la diode de détection 11, mesurée à la jonction (noeud) 34 entre la diode de détection 11 et la résistance 31, et elle est fonction du courant de jonction i_j et de la température T de la diode de détection, suivant la relation ci-dessous :

$$V_s = (kT/q)(\ln(i_j/I_s)) \quad (\text{Equation 1})$$

où k est la constante de Boltzmann et q est la charge d'un électron. La figure 4 est un diagramme représentant la variation de la température en fonction de la tension dans le cas d'une diode en GaAs ayant un courant de jonction égal à 10 microampères. La relation est approximativement linéaire 15 dans la gamme de température allant de 25°C à 300°C et elle est donnée par l'équation suivante :

$$T = 434,65^\circ\text{C} - (444,42^\circ\text{C/volt})(V_s) \quad (\text{Equation 2})$$

Une borne d'entrée directe 35 d'un amplificateur opérationnel 36 est connectée au noeud 34. Une résistance 20 shunt 40, de valeur R_s , est connectée entre une borne d'entrée inverse 41 de l'amplificateur opérationnel 36 et la masse 32. Une résistance de réaction 42, de valeur R_f , est connectée entre la borne d'entrée inverse 41 et une borne de sortie 45 de l'amplificateur opérationnel 36.

La tension de détection V_s est appliquée à la borne 25 d'entrée directe 35. Une tension de sortie V_o , produite à la borne de sortie 45, est une fonction de la tension de détection, de la valeur R_s de la résistance shunt 40 et de la valeur R_f de la résistance de réaction, ainsi qu'il est donné 30 par la relation suivante :

$$V_o = V_s(1 + R_f/R_s) \quad (\text{Equation 3})$$

La tension de sortie V_o est appliquée, sur une ligne 50, à un convertisseur analogique/numérique 55. Ce convertisseur 55 transforme le signal de tension analogique, 5 présent sur la ligne 50, en un signal numérique correspondant. La sortie du convertisseur 55 est appliquée, sur des lignes de signal 56, à un microprocesseur 60 qui convertit le signal de tension numérique en un signal de température correspondant, en utilisant une table de 10 référence 61. Cette table de référence 61 comprend une pluralité d'emplacements de mémoire pour stocker des informations relatives à des signaux de température correspondants.

Pendant le fonctionnement un signal de courant de 15 polarisation est fourni sur une ligne de signal 70 afin d'exciter la diode laser 12. La température de cette diode laser 12 varie tandis qu'elle fonctionne, ce qui provoque une modification de la longueur d'onde de la lumière émise par la diode laser. La température du substrat 13 varie en réponse à 20 des modifications de la température de la diode laser. Egalement, puisque la diode laser 12 et la diode de détection 11 se trouvent sur le même substrat, la résistance thermique entre elles est réduite. Ainsi la température de la diode de détection 11 est approximativement égale à la température de 25 la diode laser 12 et la tension de détection V_s répond rapidement à des variations de la température T de la diode de détection 11.

Ainsi qu'il a été décrit précédemment, la tension de détection V_s est amplifiée par l'amplificateur opérationnel 30 36, elle est convertie en un signal numérique par le

convertisseur analogique/numérique 55 et elle est ensuite transformée en un signal de température par le microprocesseur 60 utilisant la table de référence 61. Le signal de température représente la température de la diod 5 de détection 11 et ce signal de température, par suite de la résistance thermique réduite entre la diode de détection 11 et la diode laser 12, est sensiblement égal à la température de la diode laser.

Si on le désire, le signal de température peut être 10 utilisé dans une boucle de contrôle de la température afin de maintenir la diode laser à une température désirée. Dans ce cas le signal de température peut être fourni, à partir du microprocesseur 60, à un circuit de commande approprié, ou bien encore le microprocesseur 60 lui-même peut répondre au 15 signal de température en commandant d'une manière appropriée, apparaissant clairement pour l'homme de l'art, la température de la diode laser 12.

La réponse rapide de la tension de détection à des variations de température réduit la durée d'échauffement dans 20 des instruments (tels que, par exemple, un gyroscope à fibre optique) utilisant une diode laser puisque des erreurs, dans la mesure de la température, dues à un retard thermique sont notablement réduites. En outre le signal de température peut être additionnellement utilisé conjointement avec une 25 caractéristique typique de variation de la longueur d'onde en fonction de la température, dans le cas de la diode laser 12, afin de déterminer la longueur d'onde de la lumière émise par la diode laser, en permettant ainsi une correction du facteur d'échelle dans un gyroscope à fibre optique à boucle fermée, 30 du type serrodyne.

Suivant une variante de la forme d'exécution préférée indiquée ci-dessus, l'entrée directe 35 de l'amplificateur opérationnel 36 peut être connectée directement à la ligne de signal 70, ainsi qu'il est illustré sur la figure 5. Dans 5 cette variante d'exécution il n'est pas nécessaire de fabriquer une diode de détection de température sur le circuit intégré 10. Au contraire la tension aux bornes de la source de lumière en semi-conducteur 12 peut être elle-même utilisée d'une manière similaire, par l'amplificateur 10 opérationnel 36, le convertisseur analogique/numérique 55, le microprocesseur 60 et la table de référence 61, afin de produire le signal de température indiquant la température de la source de lumière 12. Autrement dit, lorsque la source de lumière est mise en service en appliquant un signal de courant de polarisation sur la ligne 70, la tension présente au noeud 34 est appliquée directement à l'entrée directe 35 de l'amplificateur opérationnel 36.

Cependant une différence entre cette variante d'exécution et la forme d'exécution préférée est que, dans la 20 forme d'exécution préférée, le point de fonctionnement (point de polarisation) de la diode de détection de température 11 peut être sélectionné, sur la courbe de fonctionnement de la diode, de manière à obtenir une sensibilité de mesure de la tension maximale. Par contre, dans la variante considérée le 25 point de fonctionnement de la source de lumière en semi-conducteur peut ne pas fournir nécessairement la sensibilité de mesure de la tension maximale.

Bien que l'invention ait été illustrée comme étant réalisée par une diode, d'autres dispositifs semi- 30 conducteurs, sensibles à la température, peuvent être

fabriqués sur le substrat sans sortir du cadre de la présente invention. Une diode zener, une résistance semi-conductrice et la jonction base-émetteur ou base-collecteur d'un transistor sont des exemples de dispositifs semi-conducteurs 5 ayant une caractéristique de température appropriée. On comprendra également que la diode laser en GaAs qui est utilisée en tant que source de lumière en semi-conducteur 12, est donnée à titre d'exemple. On pourrait utiliser d'autres sources de lumière telles que, par exemple, une diode 10 électro-luminescente (LED), une diode à émission de bord (ELED), une diode supraluminescente (SLD) ou une diode laser à réaction répartie (DFB). En outre bien que l'invention soit illustrée comme étant utilisée avec un amplificateur opérationnel, d'autres dispositifs d'amplification peuvent 15 être aussi utilisés. Cependant on comprendra qu'un dispositif d'amplification n'est pas nécessaire si l'amplitude de la tension de détection V_s est suffisante pour être détectée par le convertisseur analogique/numérique.

Le microprocesseur est décrit comme transformant le 20 signal numérique en un signal de température, en utilisant une table de référence. Cependant d'autres procédés de conversion d'un signal pourraient être utilisés tels qu'un sous-programme effectuant un calcul en utilisant une relation qui définit la courbe de la caractéristique de variation de 25 la température en fonction de la tension dans le cas de la source de lumière. En outre, bien que le circuit intégré 10 soit décrit comme étant fabriqué n utilisant le processus de fabrication par croissance épitaxiale et diffusion, d'autres techniques de fabrication de circuits intégrés pourraient 30 être employées telles que, par exemple, des techniques de

croissance de cristal et une construction d'alliage ou fondué.

REVENDICATIONS

1.- Appareil de détection de température caractérisé en ce qu'il comprend un substrat en semi-conducteur (13), une source de lumière (12) en semi-conducteur, formée dans le substrat en semi-conducteur (13), et des moyens (11) de détection de température, formés dans le substrat en semi-conducteur (13) à proximité de la source de lumière (12) en semi-conducteur, afin de fournir un signal électrique indiquant une tension électrique (V_s) aux bornes des moyens de détection de température (11), ce signal électrique variant en fonction de la température du substrat semi-conducteur (13), la température de ce substrat (13) variant lorsque la source de lumière (12) est mise en service.

2.- Appareil suivant la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de traitement de signal (55,60,61) pour fournir, en réponse au signal électrique (V_s), un signal de température indiquant la température de la source de lumière (12) en semi-conducteur.

3.- Appareil suivant la revendication 2 caractérisé en ce que les moyens de traitement de signal comprennent des moyens (55,60,61) pour fournir un signal numérique en réponse au signal électrique (V_s) et pour fournir le signal de température en réponse à ce signal numérique.

4.- Appareil suivant la revendication 2 caractérisé en ce que les moyens de traitement de signal comprennent des moyens pour fournir, en réponse au signal de température, un signal de longueur d'onde indiquant la longueur d'onde de la source de lumière en semi-conducteur (12).

5.- Appareil suivant la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'amplification (36)

pour amplifier le signal électrique (V_s).

6.- Appareil suivant la revendication 1 caractérisé en ce que les moyens de détection de la température sont constitués par une diode, une diode zener, une jonction base-
5 émetteur d'un transistor, une jonction base-collecteur d'un transistor ou bien encore une résistance semi-conductrice.

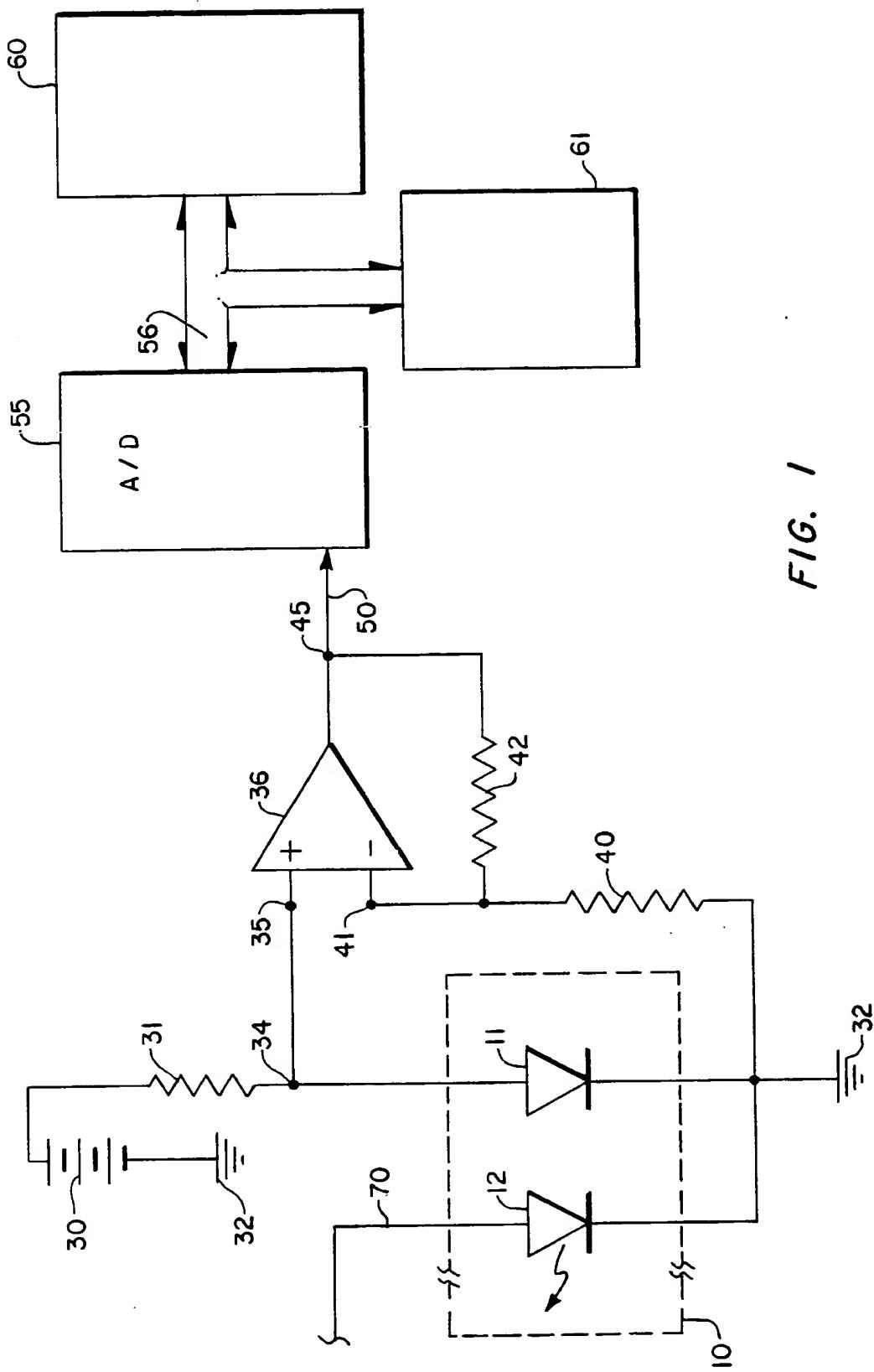
7.- Procédé de mesure de la température d'une source de lumière en semi-conducteur (11) formé dans un matériau d substrat semi-conducteur (13), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à former un dispositif de détection de température (11) dans le matériau de substrat semi-conducteur, à proximité de la source de lumière (12), à injecter un courant électrique à travers ce dispositif de détection de température (11), à mesurer la tension (V_s) aux bornes de ce dispositif de détection de température (11), et à déterminer la température de la source de lumière (12) en fonction de la tension (V_s) mesurée aux bornes du dispositif de détection de température (11), si bien que la température de la source de lumière (12) est approximativement égale à la température du dispositif de détection de température (11) du fait que ce dispositif de détection de température (11) est formé à proximité de la source de lumière.

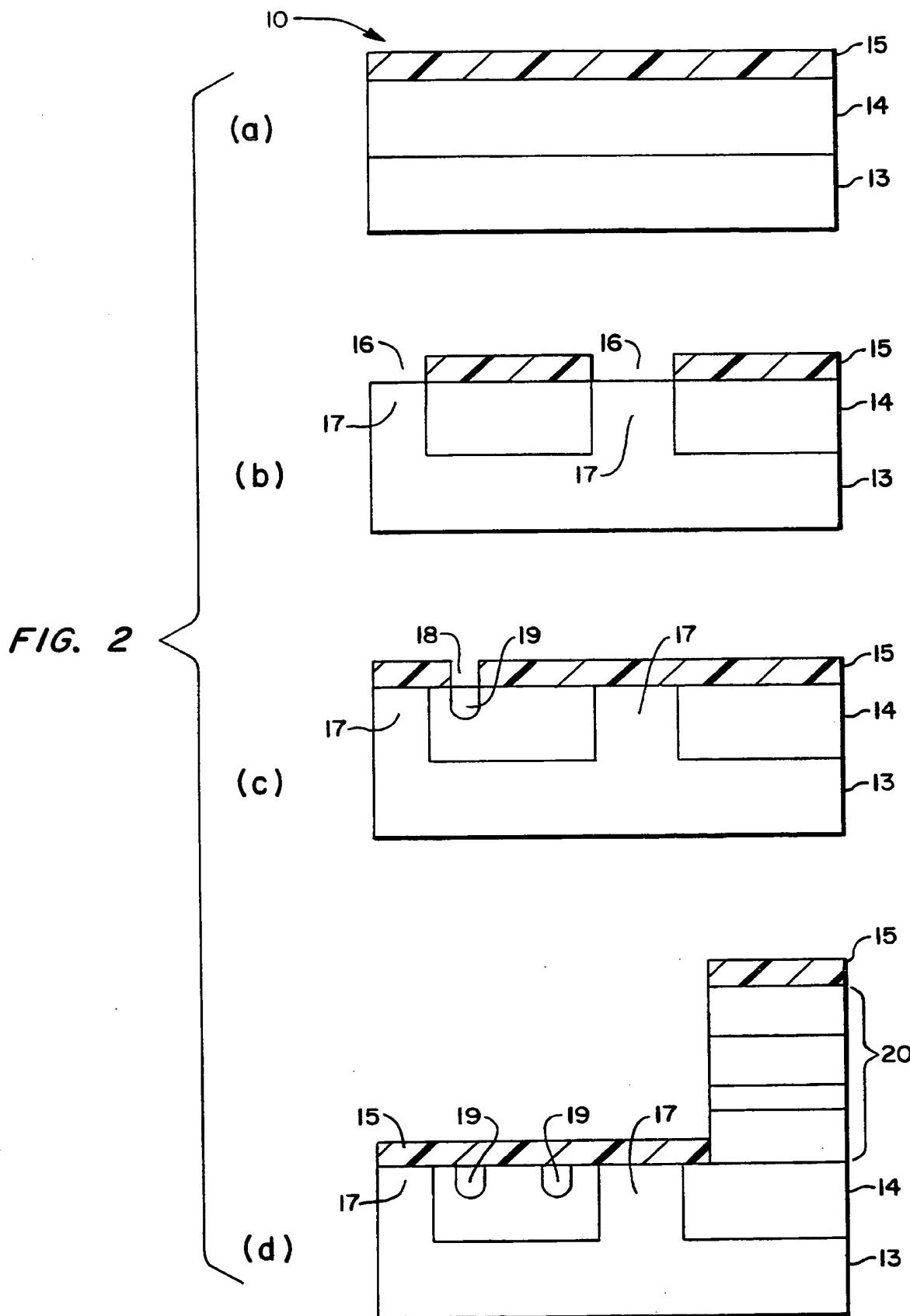
8.- Procédé de mesure de la température d'une source de lumière en semi-conducteur (11) formé dans un matériau de substrat semi-conducteur (13), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à injecter un courant électrique à travers la source de lumière (12), à mesurer ensuite la tension (V_s) aux bornes de la source de lumière (12) et à déterminer ensuite la température de la source de lumière (12) en fonction de la tension (V_s) mesurée aux

2656093

17

bornes de la source de lumière (12).





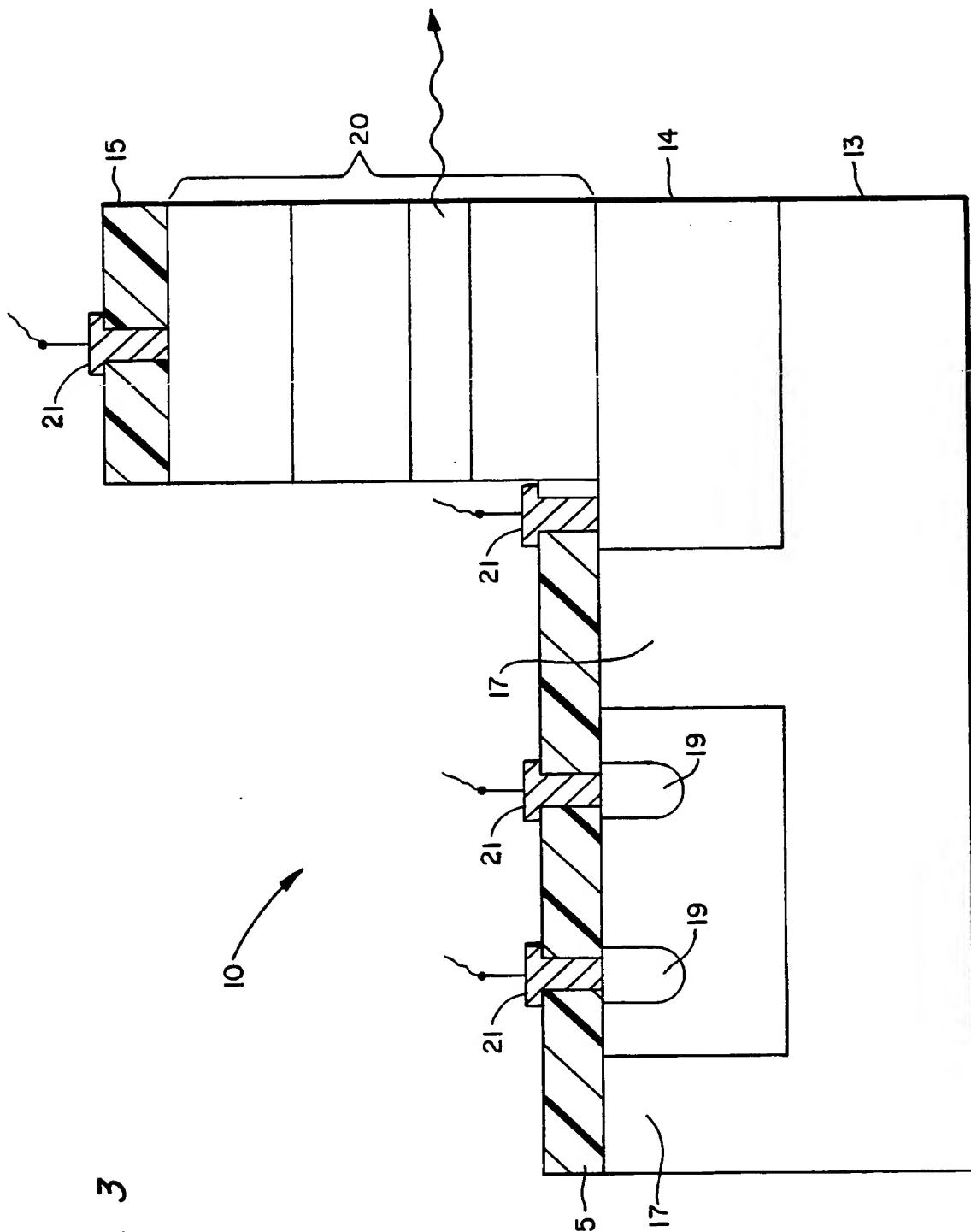


FIG. 3

2656093

planche 4/5

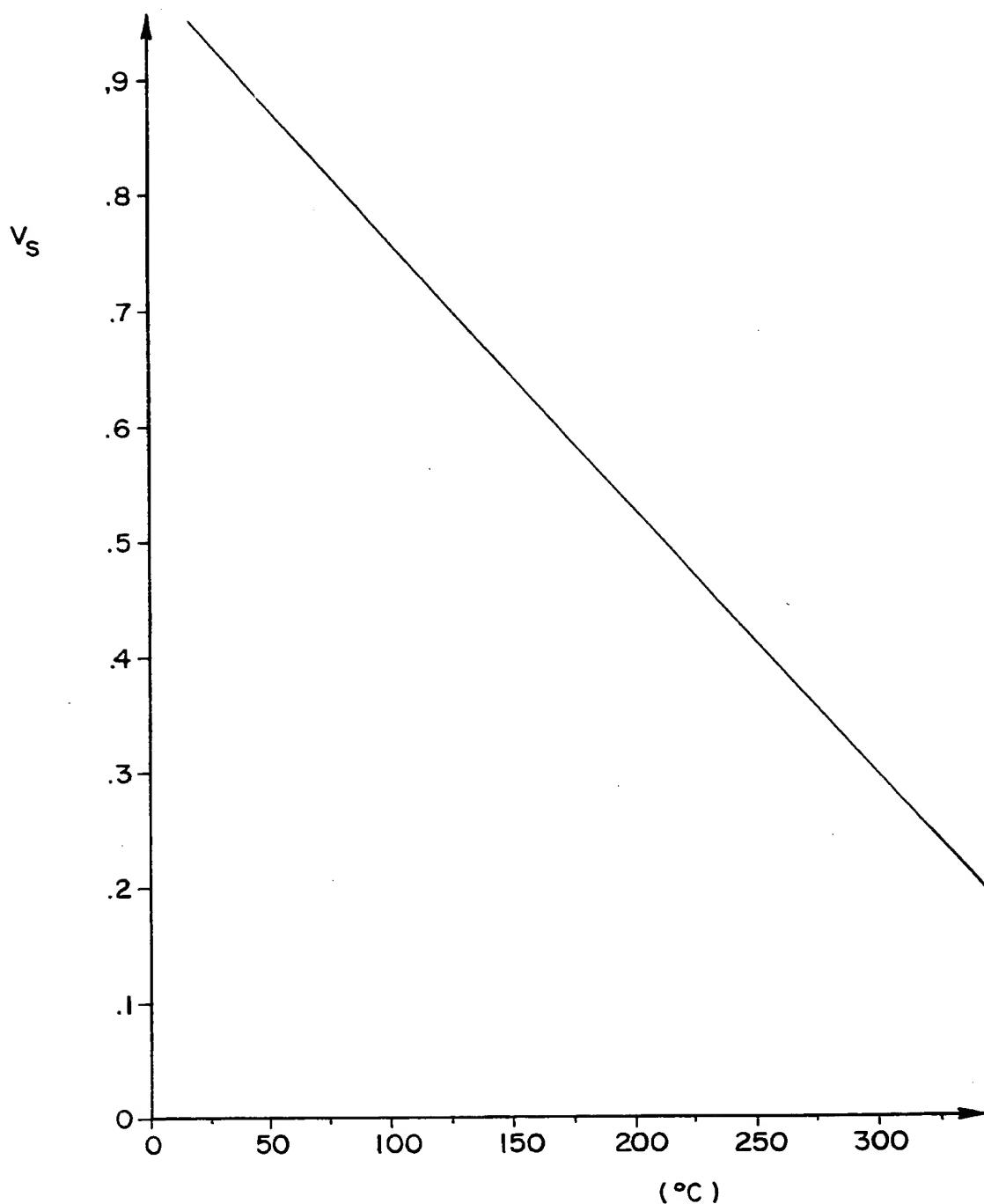


FIG. 4

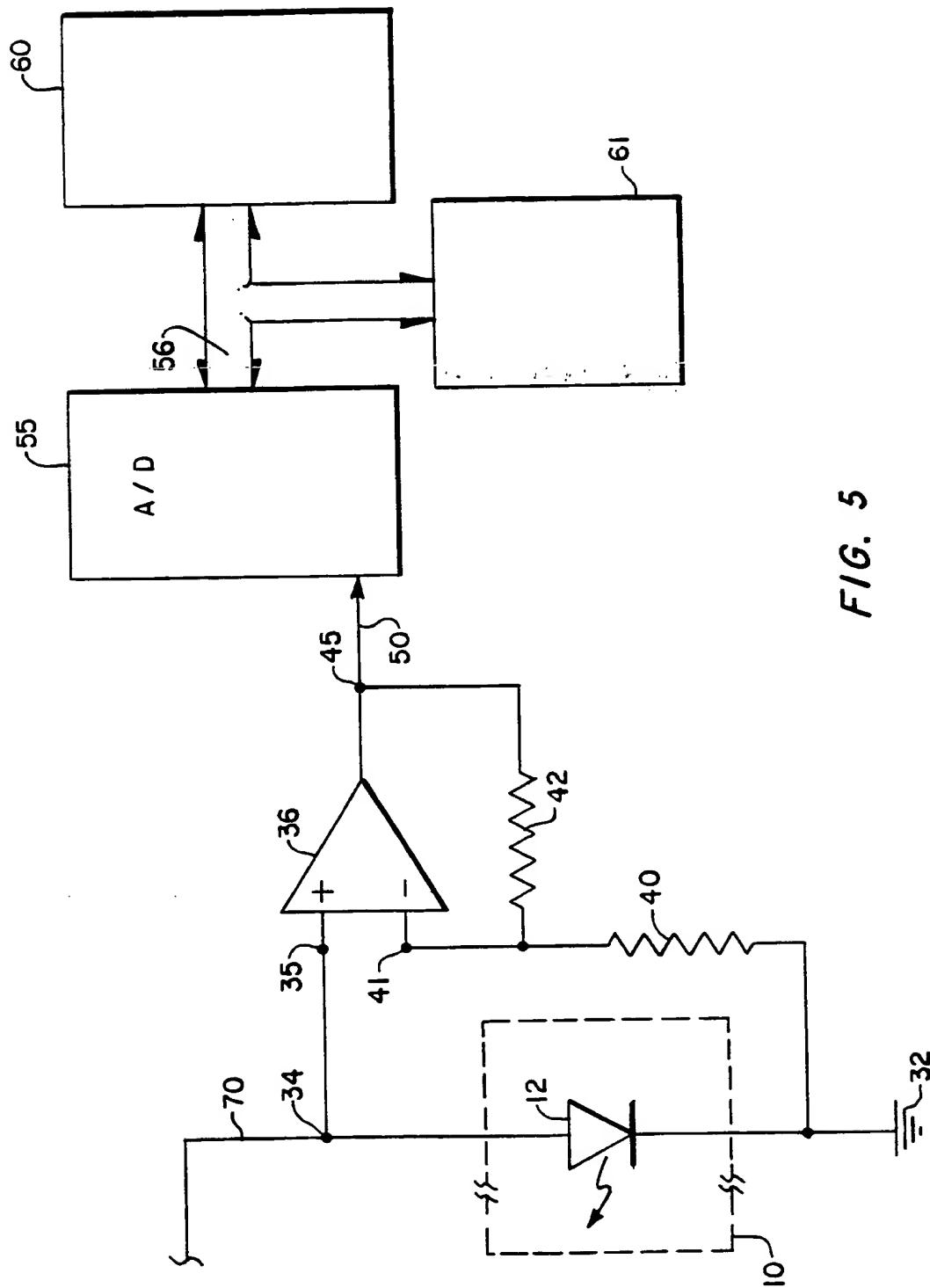


FIG. 5

THIS PAGE BLANK (USPTO)